
6. Fachtagung Baumaschinentechnik 2015

Maschinen, Prozesse, Vernetzung

Analyse notwendiger Anforderungen an das Autonome Fahren im Automobilbereich und Übertragbarkeit auf Baumaschinen

Torsten Schubert; Bernard Bäker



Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker
Technische Universität Dresden
Institut für Automobiltechnik Dresden – IAD
Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik
01062 Dresden

Analyse notwendiger Anforderungen an das autonome Fahren im Automobilbereich und Übertragbarkeit auf Baumaschinen

Das autonome Fahren ist derzeit aufgrund zahlreicher aktueller Forschungs- und Entwicklungsprojekte namhafter Automobilhersteller und -zulieferer im Fokus des öffentlichen Interesses. Der stetige Fortschritt des autonomen Fahrens kann unter anderem auf der jährlich in Las Vegas stattfindenden Consumer Electronics Show (CES) festgestellt werden, welche seit einiger Zeit auch von Automobilherstellern als Plattform zur Vorstellung neuer Technologien genutzt wird. So demonstrierte die Audi AG einen A7, der vollständig autonom vom Silicon Valley eine Strecke von 900 km Länge nach Las Vegas fuhr [1]. Darüber hinaus legen auch automobilfremde Hochtechnologiekonzerne ihr Interesse an dieser Schlüsseltechnologie offen und präsentieren eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Google verkündete die Forschung an einem eigenen autonomen Fahrzeug und auch Spekulationen über das Interesse von Apple wurden medial publik.

Dennoch stehen die rasante Entwicklungsgeschwindigkeit und die öffentlich bereits präsentierte Funktionsfähigkeit des Autonomen Fahrens im Kontrast zu der geringen Anwendung im deutschen Straßenverkehr. In Deutschland und anderen Ländern [2] sind bisher nur Pilotprojekte aus Forschung und Entwicklung existent. Diese unterliegen aktuell noch vielen Restriktionen. Dies macht deutlich, dass trotz der bisher erreichten Einzelerfolge dieser Technologie keine Serienreife besteht. So müssen für den tatsächlichen Einsatz des Autonomen Fahrens im Straßenverkehr technologische, soziologische sowie gesetzliche Rahmenbedingungen eingehalten, erweitert, angepasst, respektive erst noch definiert werden. Insbesondere im urbanen Umfeld besteht hier hoher Forschungsbedarf auch im Hinblick auf technologische Rahmenbedingungen. Die vorliegende Arbeit soll einen Einblick über offene Fragestellungen und technologische Hürden sowie deren Bedeutung für das Autonome Fahren ermöglichen. Zudem wird ein kurzer Überblick darüber gegeben, wie dies auf den Sektor der Baumaschinen übertragbar ist.

1. Autonomes Fahren im Automobil

Das Autonome Fahren ist derzeit eines der aussichtsreichsten und innovativsten Forschungsfelder der Automobilindustrie zur Steigerung des Komforts und der Sicherheit im Straßenverkehr. Zahlreiche Autohersteller und Zulieferer haben verkündet, erste autonome Systeme (wie Autobahnassistent, Autonomes Parken) bis 2020 zur Marktreife zu bringen [3]. Zur Ausführung der Transportaufgabe übernimmt der Fahrzeugführer heute verschiedene komplexe Aufgaben, die in die sog. 3-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges [4] eingeteilt werden kann. Diese unterteilt sich in die Navigations-, die Bahnführungs- und die Stabilisierungsebene. Dabei wird er bereits heute von verschiedenen Assistenzsystemen unterstützt [4].

1.1. Stufen der Automation nach SAE-Standard J3016

Nach [5] (vgl. Bild 1), wird das Autonome Fahren in mehrere Stufen untergliedert. Beginnend bei Stufe 0 in der der Fahrzeugführer alle Fahrfunktionen völlig eigenständig aus-

führt. Bereits in Stufe 1 wird der Fahrzeugführer durch diverse Fahrerunterstützungsfunktionen (z. B. Abstandsregeltempomat) assistiert. In diesen beiden Stufen fährt der Fahrer allerdings noch vollkommen selbst. In Stufe 2 werden einzelne Funktionen komplett vom Fahrzeug übernommen (z. B. Stop & Go-Assistenz). Der Fahrer muss die Funktionen jedoch ständig überwachen. Bis zu dieser Stufe finden Systeme bereits Anwendung in breiter Masse der aktuellen Fahrzeuggenerationen, ohne dass es einer Gesetzesänderung bedurfte. Für den Fahrer sind jedoch keine fahrfremden Tätigkeiten möglich. Systeme, welche über diese Funktionalität hinausgehen müssen gesondert geregelt werden. Ab Stufe 3 fährt das Fahrzeug selbstständig und überwacht die eigenen Funktionsgrenzen. Situationen, die es nicht beherrscht werden an den Fahrer übergeben. In Stufe 4 kann ein Fahrzeug alle Funktionen innerhalb eines spezifischen Anwendungsfalls selbstständig bewältigen. Jedoch kann auch hier der Fahrer zum Eingreifen aufgefordert werden, sobald dies erforderlich ist. In der obersten Stufe 5 wird kein Fahrer mehr benötigt. Das Fahrzeug kann somit alle Situationen autonom bewältigen.

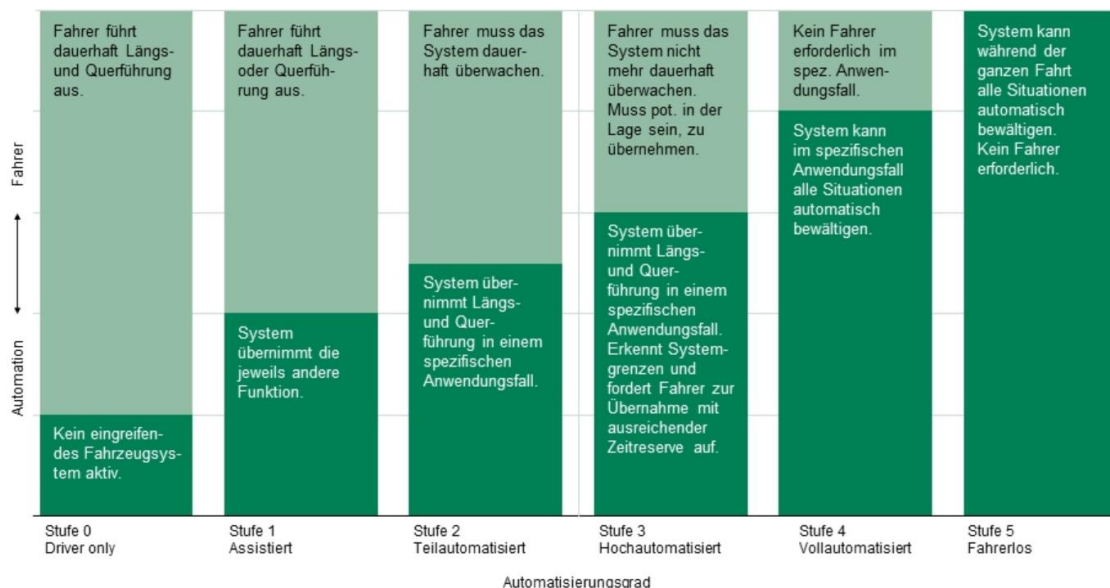


Bild 1: Stufen des automatisierten Fahrens nach SAE-Standard J3016 [5]

Laut [5] sind hochautomatisierte Fahrfunktionen zunächst auf Autobahnen und in Stausituationen zu erwarten, was sich auch im derzeitigen Stand der Technik widerspiegelt (für weitere Informationen vgl. [2], [6], [7]). Gleichzeitig schreitet die Technik weiter voran, so dass in ferner Zukunft auch im städtischen Umfeld autonome Fahrzeuge zu erwarten sind. Als erste Entwicklungsstufe im städtischen Umfeld wird eine zunehmende Automatisierung des Parkens erwartet [8].

Damit ein Fahrzeug auch die denkbar komplexesten Fahrsituationen beherrscht, die vor allem im urbanen Raum vorstellbar sind, muss insbesondere in den Bereichen Sensorik, maschinelles Verstehen und Entscheidungsfindung noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden.

1.2. Einführungsstrategien für autonome Fahrfunktionen

Aus Sicht der Automobilhersteller wird sich die Automation im Fahrzeug nach und nach entwickeln. Der Fokus der Entwicklung liegt derzeit in der Weiterentwicklung bordeigener Sensorik, um diese für automatische Fahrfunktionen einsetzen zu können. Dabei handelt

es sich um einen evolutionären Ansatz. Neben Systemen zur automatisierten Unterstützung bei der Längsführung wird der Fahrer auch zunehmend bei der Querführung seines Fahrzeuges unterstützt. So gibt es erste automatisierte Fahrfunktionen auf der Autobahn (Staupilot) und beim Parken in der Stadt [8]. Durch die hohen Systemkosten für den Fahrzeugkäufer, der nur schrittweisen Weiterentwicklung und den langen Investitionszeiträumen wird erwartet, dass die Durchsetzung des Marktes mit automatisierten bis hochautomatisierten Fahrfunktionen relativ lange dauern wird. Aus Sicht der aktuellen Automobilhersteller wird eine langfristige Einführung automatisierter Fahrfunktionen bevorzugt. Dieses evolutionäre Szenario ist somit langfristig vorhersehbar insbesondere im Vergleich zum revolutionären Ansatz [8].

Im Gegensatz dazu verfolgen bekannte IT-Konzerne (Google, Apple) einen deutlich revolutionäreren Ansatz und erforschen Systeme, die alle denkbaren und auch undenkbaren Situationen bereits in naher Zukunft beherrschen sollen. Dabei werden neue Zielgruppen adressiert, die in autonomen Fahrzeugen persönliche Vorteile erwarten (z. B. Blinde Personen). Besonderes Augenmerk wird hier auf künstliche Intelligenz und lernende Algorithmen gelegt. Lernende Systeme haben den Vorteil, dass sie in ihrem Lebenszyklus z. B. die Objekterkennung verbessern bzw. das Verhalten und die Gewohnheiten des Nutzers lernen können [8].

Vergleicht man beide Einführungsstrategien, so sind die Ziele der Automobilindustrie relativ klar definiert. Im Gegensatz dazu ist es jedoch unklar, welche Produktziele die Technologieunternehmen verfolgen [8]. Beispiele für mögliche Strategien sind:

- die Erstellung und der Vertrieb von hochgenauem Kartenmaterial und damit die Beschleunigung der Entwicklung des Autonomen Fahrens
- die Erschließung neuer Märkte für Internetdienstleistungen und somit evtl. erhöhte Werbeeinnahmen
- Entwicklung neuer Anwendungsfälle z. B. Konzept des Fahrzeugs auf Abruf („Vehicle-on-Demand“) für Warenlieferungen

Zudem sind zahlreiche Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine Weiterentwicklung, Erprobung und Marktreife autonomer Fahrzeugfunktionen ermöglichen. Diese werden im Folgenden näher betrachtet.

2. Rahmenbedingungen des Autonomen Fahrens

Für den Einsatz autonomer Fahrzeuge im Straßenverkehr müssen zahlreiche technologische, soziologische sowie gesetzliche Rahmenbedingungen beachtet, erweitert, angepasst, oder erst noch definiert werden. Insbesondere im urbanen Umfeld, mit dem denkbar komplexesten Fahrzeugumfeld, besteht derzeit enormer Forschungsbedarf. Im Folgenden werden technologische, soziologische und gesetzliche Rahmenbedingungen und deren aktueller Stand vorgestellt.

2.1. technologische Rahmenbedingungen

Zur Durchführung der übergeordneten Transportaufgabe muss ein Fahrzeug verschiedene Teilaufgaben der 3-Ebenen-Hierarchie nach Donges [4] beherrschen. Diese werden derzeit vom Fahrer übernommen, und er wird dabei von unterschiedlichen Assistenzsystemen unterstützt. Das Fahrzeug muss mit spezieller Sensorik und Aktorik ausgestattet

sein um seine Position auf der Straße zu ermitteln, Objekte zu erkennen und zu verfolgen, und Fahrentscheidungen anhand relevanter Eingangsdaten zu treffen.

2.1.1. Umfeldwahrnehmung

Der Straßenverkehr stellt ein hochkomplexes Umfeld dar und erfordert darum leistungsfähige Systeme zur Umfeldwahrnehmung. Dabei muss zwischen Szenarien auf Autobahnen, Landstraßen und in der Stadt unterschieden werden. Um Objektmerkmale zuverlässig zu extrahieren, ist eine Fusion mehrerer Sensorinformationen aus verschiedenen Quellen notwendig [9] (vgl. Bild 2). Derzeit werden die Daten verschiedener Sensoren je nach Anwendungsfall direkt im Steuergerät der spezifischen Fahrerassistenzfunktion (z. B. Lane-Assist) [4] berechnet. In Zukunft wird eine Vielzahl von Funktionen auf die gleichen Sensordaten zugreifen müssen. Daher wird eine zentrale Fusion von Sensordaten und Extraktion von Informationen (Objekte, Fahrzeuge, Verkehrszeicheninformationen, Lokalisierung) als zweckmäßig und notwendig erachtet.

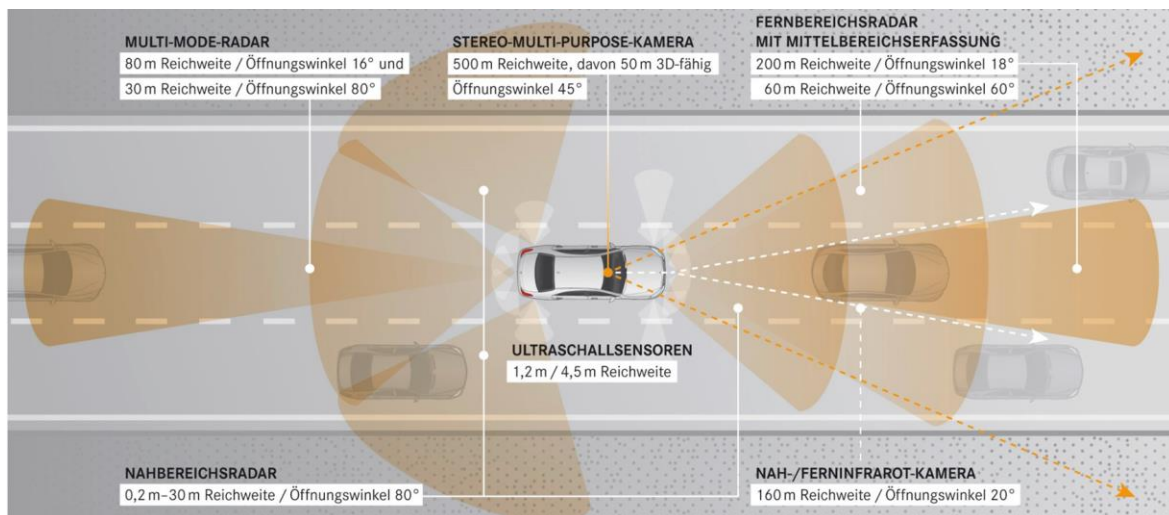


Bild 2: Umfelderkennung mit aktueller Sensorik (S-Klasse) [10]

Für das Autonome Fahren muss die Vorausschau, die der heutige Fahrzeugführer leistet, indem er abschätzt, wie sich andere Verkehrsteilnehmer verhalten und ob er z. B. eine Lücke zum Einfädeln nutzen kann, durch das Fahrzeug geleistet werden [11]. Dazu ist eine Manöver- und Objekterkennung unabdingbar. Dies stellt vor allem im komplexen urbanen Verkehrsumfeld eine enorme Herausforderung dar. Es muss zwischen vielen verschiedenen Verkehrsteilnehmern unterschieden und auf deren Verhalten reagiert werden. Weiterhin ist die Verkehrsinfrastruktur deutlich komplexer und unübersichtlicher. So sind bspw. Fahrbahnmarkierung im innerstädtischen Kreuzungsbereich im Gegensatz zur Autobahn unterbrochen, überschneiden sich oder sind durch Hindernisse verdeckt. An die Software zur Auswertung der Sensordaten werden extrem hohe Anforderungen gestellt, wenn die vergleichsweise ideale Verkehrsinfrastruktur auf der Autobahn verlassen wird.

2.1.2. Kooperation der Verkehrsteilnehmer

Weiterhin wird insbesondere durch die Car-2-X-Kommunikation eine Erweiterung der fahrzeugeigenen Sensorinformationen ermöglicht. So ist es angedacht, dass die Sensorinformationen anderer Fahrzeuge genutzt werden, um den Informationshorizonts zu erweitern [12].

Für das kooperative Verhalten der Verkehrsteilnehmer müssen zahlreiche Punkte der Kommunikation zwischen Mensch (inner- und außerhalb des Fahrzeuges) und Maschine beachtet werden. Es besteht hoher Bedarf an Kooperation, da sich Fahrzeuge ihre Intensionen signalisieren müssen, um Konflikte zu vermeiden. Wie in [13] aufgeführt, gibt es zwischen menschlichen Verkehrsteilnehmern zahlreiche Wege der Kommunikation. Darunter fallen Schematismenbildung, Vorwegnehmendes Handeln, Nonverbale Kommunikation, Gesichtsausdruck und Augenkontakt, Gesten und Körperbewegungen. Wichtig dabei ist, dass diese Zeichen nur im jeweiligen Kontext gültig sind. So hat eine Lichthupe beispielsweise je nach Situation mehrere Bedeutungen. Außerdem wird der Kommunikation mit Radfahrern und Fußgängern hier eine besondere Bedeutung bemessen, da diese auf sehr unterschiedliche Weise ihre Intensionen signalisieren können. Ähnlich verhält es sich in Sonderfällen mit Polizeibeteiligung oder bei Fahrzeugen mit Sonderrechten. Diese Kommunikationsformen sind durch geeignete Verfahren bei Autonomen Fahrzeugen zu berücksichtigen, da es sonst zu absehbaren Problemen z. B. beim Einfädeln eines autonomen Fahrzeuges in den fließenden Verkehr kommen kann [14].

Da die Fahrweise des Fahrzeugführers einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Fahrzeuges haben kann ist anzunehmen, dass vollautomatisierte Fahrzeuge der Zukunft energieeffizientester fahren können. Denn hier kann global die energieeffizienteste Trajektorie bestimmt und durch das Fahrzeug verfolgt werden. Dazu existieren bereits Ansätze, welche sich mit dieser Thematik beschäftigen (z. B. durch den Ansatz einer Dynamischen Programmierung) [15].

2.1.3. Hochgenaue Karten und Lokalisierung

Neben der Umfeldwahrnehmung ist für die Navigation und Trajektorienplanung für autonome Fahrfunktionen eine exakte Positionsbestimmung innerhalb der Fahrspur erforderlich. Bisher wird die Positionierung nur auf der Navigationsebene genutzt, wofür die Genauigkeit der satellitengestützten Ortung in Kombination mit sogenannten Map-Matching-Verfahren ausreichend ist. Besonders im innerstädtischen Bereich kann die Ortung mittels GPS durch Abschattung oder Reflektion der Satellitensignale an großen Gebäuden, fehlerhaft sein.

Autonome Fahrfunktionen und die Manöver, welche bisher der Fahrer übernommen hat, finden hingegen auf der Bahnplanungs- und der Stabilisierungsebene statt (z. B. Spurwechsel). Diese erfordern eine erhöhte Genauigkeit bei der Eigenlokalisierung, um proaktiv (z. B. beim Überholen) handeln zu können. Dazu ist hochgenaues Kartenmaterial notwendig, welches derzeit noch nicht vorhanden ist [16]. Aktuell haben die deutschen Automobilhersteller ihr Engagement in diesem Bereich erhöht und den Kartenanbieter HERE gekauft. Die Infrastruktur muss ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden. Vorrän-

gig geht es dabei um die notwendige Straßenqualität insbesondere die Qualität der Fahrbahnmarkierungen und Beschilderung aber auch um die Infrastrukturkommunikation zur Verbesserung der Qualität und Aktualität von Verkehrsinformationen [11], [12].

2.1.4. Herausforderung für die Absicherung und Systemarchitektur

Nicht zu vernachlässigen ist die Absicherung als fester Bestandteil des Fahrzeugentwicklungsprozesses. Mit zunehmender Komplexität des Systems und des Umfeldes steigt auch der Aufwand für die Absicherung zur Vermeidung von Systemfehlern. Da im Zuge der Automatisierung von Fahrfunktionen die Systemkomplexität zwangsläufig ansteigen wird, sind neue Methoden zur Beherrschung dieser Herausforderung notwendig [11].

Zur Gewährleistung der Sicherheit bei Ausfall von Systemkomponenten müssen ebenfalls neue Konzepte entwickelt bzw. implementiert werden, da der Fahrzeugführer nur bedingt und später gar nicht mehr als Rückfallebene zur Verfügung steht [11]. In diesem Zusammenhang muss unter anderem die ISO26262 eingehalten und sinnvoll umgesetzt werden.

2.2. Soziologische Rahmenbedingungen

Laut einer Mobilitätsstudie der Continental AG [12], spricht sich eine Mehrheit für das Autonome Fahren auf Autobahnen aus. Der größte Nutzen wird bei Autobahnbaustellen und –staus sowie der Parkplatzsuche und dem automatisierten Parken gesehen. Autofahrer versprechen sich demnach eine Reduzierung der Fahrzeit und eine Nutzung der gewonnen Zeit für anderen Tätigkeiten. Dabei steht das Vertrauen des Fahrers in die Technik im Gegensatz zur Fahrerüberwachung.

2.2.1. Vertrauen des Fahrers in die Technik und Fahrerüberwachung

Bislang ist „die Frage, wie die Rolle des Menschen auf dem Weg hin zum vollständig autonomen Fahrzeug psychologisch sinnvoll und nutzergerecht definiert werden kann“ völlig ungeklärt [17]. Die Forschung beschäftigt sich derzeit vor allem mit den Wechselwirkungen zwischen teil- und hochautomatisierten Fahrfunktionen und dem menschlichen Verhalten. Im Zentrum stehen dabei das Vertrauen in das System, der Kompetenzverlust und das Situationsbewusstsein.

Als wesentliche Herausforderung gilt es, Vertrauen für ein neues System zu aufzubauen. Gleichzeitig führt ein übersteigertes Vertrauen jedoch wiederum zu unzureichender Überwachung bzw. Kontrolle der Systeme. Dies stellt insbesondere in frühen Entwicklungsstufen für automatisierte Fahrfunktionen ein nicht zu unterschätzendes Risiko dar. Die Automatisierung bestimmter Aufgaben der Fahrzeugführung kann außerdem zu einem Kompetenzverlust des Fahrzeugführers und einer zunehmenden Systemabhängigkeit beitragen. Dies betrifft zum einen Fertigkeiten auf der perzeptuell-motorischen Ebene (z. B. Lenken, Schalten) zum anderen auf kognitiver Ebene (Entscheidungen treffen). Monotone Überwachungsaufgaben oder die Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten können somit dazu führen, dass der Fahrzeugführer nicht mehr in der Lage ist, sein Fahrzeug in bestimmten Situationen zu führen [17].

In Hinblick auf die Übergabe der Fahrfunktion an den Fahrzeugführer ist eine Fahrerüberwachung notwendig, damit das System weiß, wie viel Zeit der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe benötigt und wie es den Fahrer erreichen kann. Die Fahrerüberwachung wiederum löst Diskussionen bezüglich des Datenschutzes aus, falls diese Funktionen Daten dauerhaft speichern oder diese mit einer Zentrale über das Internet abgleichen. [18]

2.2.2. Dilemmasituationen

Im Kontext des Autonomen Fahrens wird häufig von sog. Dilemma-Situationen gesprochen. Dabei handelt es sich um Situationen die durch eine Verkettung von Ereignissen unweigerlich zu Personen oder Sachschaden führen [19]. Das autonome Fahrzeug muss dann aus den Alternativen eine mögliche Handlungsoption auswählen. Es werden dabei immer verschiedene Beispiele aufgeführt: z. B. wird das fiktive Fahrzeug vor die Wahl gestellt, nach rechts (ein Kind würde angefahren werden) oder nach links auszuweichen (eine Person mittleren Alters würde angefahren werden). Grundsatzdiskussionen zum Vorhandensein derartiger Situationen, verschiedene ethische Aspekte und weitere Folgen werden detailliert in [20] aufgeführt. Dort wird das Vorhandensein derartiger Dilemma-Situationen prinzipiell angezweifelt.

2.3. Gesetzliche und rechtliche Rahmenbedingungen

Einige gesetzliche und rechtliche Rahmenbedingungen müssen zur Einführung von autonomen Fahrzeugen eingehalten bzw. überarbeitet werden. Diese betrifft sowohl nationale als auch internationale Vereinbarungen. Neben dem Wiener Übereinkommen und geltenden EC-Richtlinien müssen auch Fragestellungen bezüglich des Datenschutzes und der Datensicherheit sowie der Haftung und Versicherung geklärt werden.

2.3.1. ECE-R79 und Wiener Übereinkommen

Wegen internationalen Rechts dürfen autonome Fahrzeuge derzeit nur als Testfahrzeuge zugelassen werden (z. B. Deutschland; § 70 StVZO sowie § 46 StVO) [21]. Eine Anpassung bedarf u. A. auch eine Überarbeitung geltenden EU-Rechts. Insbesondere in der ECE-R79 Lenkanlagen und der ECE-R84 für Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen im Kfz [11]. Ebenfalls zu beachten ist das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (WÜ) [22]. Dieses ist ein internationaler Vertrag der im Rahmen einer UN-Konferenz 1968 erarbeitet wurde. Die Vertragsstaaten haben sich verpflichtet, geltende Verkehrsregeln mit denen des Übereinkommens in Einklang zu bringen [21].

Wie in [21] bereits richtig geschlussfolgert, muss dieses Abkommen für den autonomen Fahrbetrieb angepasst werden. Nach derzeitigem Stand ist das Autonome Fahren unzulässig und wird daher nur durch Sondergenehmigungen erlaubt [7]. Daher wurde kürzlich ein Änderungsvorschlag des WÜ von Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und Belgien erarbeitet, nach dem Systeme zum automatisierten Fahren zulässig sind, wenn sie jederzeit vom Fahrer deaktiviert und übersteuert werden können [23].

2.3.2. Datenschutz und Datensicherheit

Im Fahrzeug fallen bereits heute an unterschiedlichen Stellen umfangreiche Daten an [24]. Neben Fahrerassistenzsystemen, Sicherheitssystemen und Komfortsystemen, fallen große Datenmengen bei Kamerasystemen und Infotainmentsystemen an. Weiterhin sind Diagnosesysteme im Fahrzeug ein Lieferant von wichtigen Daten. Wichtig ist daher die Identifikation schützenswerter Daten. Bereits heute werden in vernetzten Fahrzeugen zahlreiche persönliche Informationen gesammelt [25]. Darunter fallen:

- **Standort- und Navigationsdaten:** Reiseziel/-zeit/-gewohnheiten oder Vorlieben bei der Routenplanung
- **Fahrdynamikdaten:** Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge, die Daten zum Verhalten des Fahrzeugs und des Fahrzeugführers liefern, mit denen Aussagen über den Fahrstil getroffen werden können
- **Daten zum Fahrverhalten:** z. B. Feststellung von Geschwindigkeitsübertretungen durch Ermittlung der durchschnittlichen Reisezeit in bestimmten Streckenabschnitten
- **Umgebungsdaten:** Daten über andere Verkehrsteilnehmer oder Bildmaterial von Personen

Hinzu kommen zukünftig weitere Daten in Abhängigkeit verschiedener Einsatzszenarien. So können bspw. die Fähigkeit und Gewohnheiten des Fahrers zur Übernahme der Fahrfunktion ermittelt werden oder auch Aufenthaltszeiten an bestimmten Orten, woraus Gebiete von Interesse, Gewohnheiten und das Reiseverhalten abgeleitet werden können. Diese Daten sind für unterschiedliche Instanzen (Fahrzeughersteller, Kfz-Versicherer, Leitzentralen, Behörden) von Interesse.

Da eine Speicherung dieser Daten grundsätzlich auch die Verarbeitung ermöglicht, ist es unbedingt erforderlich einen Schutz der Daten durch beschränkte Zugriffsrechte und den Einsatz von Verschlüsselungen zu erreichen [25]. Wie aktuelle Meldungen in den Medien außerdem zeigen [26], sind die Daten, welche im Fahrzeug gesammelt und verarbeitet werden auch gegen ungewünschte Zugriffe von außen zu schützen. Dies betrifft nicht nur den Zugriff auf gesammelte Daten sondern vor allem die Verhinderung bspw. einer Fernsteuerung des Fahrzeugs.

Für den Erfolg und die Durchsetzung des Autonomen Fahrens ist die Datensicherheit eine wichtige Voraussetzung [18].

2.3.3. Haftung

Sobald ein Schaden, z. B. in Folge eines Unfalls, an einem maschinell gesteuerten Fahrzeug auftritt, stellt sich die Frage, ob dies auf einen Produktfehler schließen lässt. Sofern dies nicht durch den Fahrzeugführer z. B. durch ein Übersteuern hervorgerufen wurde. In solch einem Fall muss der Fahrzeugführer haften. Letztlich würden im Fall eines Schadens immer die Hersteller die Haftung für Fehlfunktionen bei der Automatisierung tragen [20], [27]. In Hinblick auf die Haftung im Schadensfall sind noch nicht alle Fragestellungen geklärt.

3. Übertragbarkeit auf Baumaschinen

Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Einblick in die Automatisierung im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen. Anhand eines Beispiels werden geltende Rahmenbedingungen als Anregung für weiterführende Untersuchungen diskutiert.

3.1. Aktuelle Entwicklungen und Beispiele

Im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen gibt es zahlreiche Beispiele für autonome Systeme (z. B. in der Landwirtschaft) [28]. Autonome Systeme können dort monotone Arbeitsabläufe zuverlässiger und effizienter durchführen und dadurch die Produktivität und Effektivität steigern und beugen Unfällen aufgrund von Unachtsamkeit und Übermüdung vor.



Bild 3: Links: Assistenzsysteme für Bagger im Tagebau [29]. Rechts: Fahrerlose Minen LKW [30]

Im Sektor der Baumaschinen geht die Automatisierung in vielen Fällen bisher nicht über Assistenzfunktionen hinaus. So können z. B. vom Menschen gesteuerte Bagger, die mit Intelligent Machine Control der Firma Komatsu ausgestattet sind, so programmiert werden, dass Material nur bis zu einer bestimmten Baggartiefe abgetragen wird. Weiterhin gibt es bereits Planiertrappen, welche eine Schildsteuerung besitzen, die Arbeitsabläufe für den Bediener deutlich vereinfachen. Für beide Anwendungen sind präzise Geländeplandaten erforderlich. [31]

Die Firma Rio Tinto setzt in ihren Minen in Australien für den Transport von Erz automatisch fahrende LKW ein [30]. Diese können Erz laden und entladen sowie auf Straßen fahren. Gesteuert werden sie über einen Operator, der Wegpunkte vorgibt, denen die Trucks folgen (s. Bild 3 rechts). Mit der extra verbauten Sensorik können diese auf Hindernisse reagieren. Weiterhin wird im Tagebau die Assistenzfunktion „Swing to Truck / Return to Truck mit Kollisionsvermeidung“ (s. Bild 3 links) [29] erprobt. Nachdem die Baggerschaufel gefüllt wurde, übernimmt ein Assistenzsystem („Kopilot“) die Steuerung. Dieses bewegt die Schaufel zum LKW, läd die Ladung ab und kehrt automatisch in die Ausgangsposition zurück. Ebenso wird intensiv an der Vernetzung der verschiedenen Teilnehmer auf Baustellen gearbeitet [32].

3.2. Bezug zum Automobil

Der Straßenbau dient für die nachfolgenden Betrachtungen als Beispiel, da dieser in unmittelbarem Zusammenhang mit Automobilen steht. Im Automobilbereich wird bei der Einführung von autonomen Fahrfunktionen vorwiegend an die Steigerung der Sicherheit und des Komforts des Transportsystems Auto für die Fahrzeuginsassen gedacht. Wie bereits erwähnt muss die Infrastruktur ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden. Dabei kommt die notwendige Straßenqualität insbesondere die Qualität der Fahrbahnmarkierungen zum Tragen. Eine Automatisierung im Verkehrsinfrastrukturbau kann vor allem der effizienteren Prozesssteuerung zur Optimierung von Zeitaufwand und Kosten dienen. Zusätzlich wird durch die Reduzierung der Bauzeiten die Dauer von Baustellen reduziert. Außerdem ist eine Automatisierung der Asphaltaufbringung der Straßenqualität zuträglich [34]. Sowohl im Erd- als auch im Asphaltbau kommen LKW zum Transport von Erdvolumen zu Deponien, zur Aufschüttung von Terrain bzw. zum Transport von Mischgut (Asphalt) zum Einsatz. Die Einteilung der Ressource LKW ist dabei eine wesentliche Herausforderung. Erfolgt der Einsatz auf öffentlichen Straßen sind für autonome Fahrfunktionen die Rahmenbedingungen des Automobilbereichs zu beachten. Anderweitig gelten andere Anforderungen z. B. auf dem Gelände von Bauvorhaben. [34]

3.3. Use-Case Straßenbau/Asphaltbau

Eine Straßenbefestigung besteht aus einem Fundament (Unterbau) und dem Oberbau (Tragschicht und Deckschicht) [35]. Zur Vorbereitung des Fundamentes sind wie in den meisten Bauvorhaben Erdarbeiten erforderlich. Eine entscheidende Einflussgröße dabei ist der Boden bzw. dessen Profil und Zusammensetzung (Bodenbeschaffenheit) [36]. Diese Arbeiten benötigen schwere Maschinen, sind teuer und zeitintensiv. Zur Steigerung der Produktivität findet bspw. eine Prozessautomatisierung und somit eine Steigerung der Leistungsfähigkeit statt. [37]



Bild 4: Prozesskette im Asphaltbau [38]

Die letzte Phase des Straßenbaus ist der Asphaltbau. Dieser unterteilt sich in die Asphaltherstellung, den Transport, den Einbau und die Verdichtung (s. Bild 4). Mängel können durch Verzögerungen oder Probleme in den unterschiedlichen Phasen des Asphaltbaus verursacht werden. Der entscheidendste Schritt dieser Phase ist die Verdichtung der Asphaltschicht. Fehler in diesem Schritt sind meist unumkehrbar, oder mit hohen Kosten verbunden. Experten sagen, dass etwa 5 % der Bausumme in Deutschland für Beseitigung solcher Mängel aufgewendet werden. [32]

In den ersten Phasen der Prozesskette spielt der LKW die primäre Rolle, da er das Mischgut im Mischwerk aufnimmt und zum Einsatzort transportiert. Verzögerungen auf dem Transportweg, können die Qualität des Mischguts empfindlich stören. Am Einbauort übergibt der LKW das Mischgut an den Asphaltfertiger, der dieses zu einer Asphaltdecke verarbeitet. Für eine gleichmäßige und feste Asphaltdecke wird viel Präzision durch den Bediener verlangt. Diese Asphaltdecke wird im Anschluss durch Walzen verdichtet, die üblicherweise mehrmals über die Asphaltdecke fahren. Der gesamte Prozess ist stark wetterabhängig und eine Einbeziehung von Wetterdaten ist daher unabdingbar. [38]

3.4. Übertragbarkeit von Rahmenbedingungen

Nach einer ersten Einschätzung lassen sich grundsätzlich nur in wenigen spezifischen Fällen die unter Abschnitt 2 aufgezeigten Rahmenbedingungen aus dem Automobilbereich in den Bereich der Baumaschinen übertragen. Die primäre Aufgabe des Automobils ist der Transport von Personen und Gütern. Dazu bewegen sich Fahrzeuge auf Straßen. Ähnlich verhält sich dies nur beim Einsatz von LKW im Baumaschinenbereich. Im Gegensatz dazu stehen die vielfältigen Aufgaben spezifischer Baumaschinen. Dabei spielen mehrere Faktoren eine tragende Rolle. Bauprojekte sind Einzelfertigungen aus standardisierten Komponenten, geprägt durch Wiederholung der Aktivitäten Ausbau, Transport und Einbau. Die Wertschöpfung ist dabei standortgebunden und zeichnet sich durch eine hohe Arbeitsteiligkeit unterschiedlicher Maschinen aus. Hier sind zum einen die Umfeldwahrnehmung, hochgenaue Kartendaten und die Lokalisierung und zum anderen eine verstärkte Kooperation unterschiedlicher Maschinen vorteilhaft sein. [39]

Technologische Rahmenbedingungen

Die Umfeldwahrnehmung von Baumaschinen ist derzeit noch nicht so stark ausgeprägt wie im Automobilbereich (vgl. Bild 2). Wenn autonome Baumaschinen auf einer Baustelle unterwegs sind, dann müssen diese in der Lage sein Objekte (Bauarbeiter, Baumaschinen, Hindernisse) mit entsprechender Umfoldsensorik zu erkennen [30]. Hier kann auf umfangreiche Erfahrungen aus dem Automobilbereich zurückgegriffen werden. Als ein möglicher Vorteil sind die niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten zu nennen, die auf der Baustelle herrschen. Dadurch sinken bspw. die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Sensorik, da einerseits mehr Zeit für die Auswertung und Verarbeitung der Sensordaten zur Verfügung steht und es sich andererseits meist um abgegrenzte Gebiete mit einem mehr oder weniger festgelegten Bewegungsmuster der einzelnen Teilnehmer handelt.

Wie im Automobilbereich [16] sind auch im Straßenbau hochgenaue Kartendaten erforderlich. So werden bspw. die Geländeplandaten der Baustelle als 3D-Modelle erstellt [36]. Zur Lokalisierung der Fahrzeuge ist demzufolge auch eine exakte Positionierung der Maschinen im Gelände notwendig. Wie im automotive Umfeld ist auch für die Anwendung auf der Baustelle die Genauigkeit des GPS nicht ausreichend. Für den Einsatz auf Baustellen kommen daher lokale Positioniersysteme zum Einsatz (LPS) [33]. Zudem kann auf umfangreiches Know-how aus dem Automobil zur Eigenlokalisierung zurückgegriffen werden [40]. Weiterhin werden für Erdarbeiten im Gegensatz dazu viel exaktere Höheninformationen und Informationen über die Bodenbeschaffenheit benötigt. Eine sinnvolle Erweiterung

der Umfeldwahrnehmung für den Asphaltbau ist spezielle Messtechnik, welche die Beschaffenheit/Temperaturverteilung der Asphaltdecke messen kann. [34]

Auch auf der Baustelle, wo der Fokus der Arbeit auf dem Gesamtergebnis liegt, ist dafür zu sorgen, dass die einzelnen Maschinenführer insbesondere LKW Fahrer nicht den Fokus auf eigene Ziele legen (geringerer Arbeitsaufwand, Arbeitszeit). Für eine automatisierte Prozesssteuerung ist in erster Linie dafür zu sorgen, dass eine Vernetzung der einzelnen Maschinen zum Informationsaustausch untereinander und zur Überwachung durch den Bauleiter erfolgen kann. Diese kann neben der Kontrolle auch zur Dokumentation des Baufortschrittes genutzt werden. [34]

Dazu existieren bereits erste Ideen und Ansätze (vgl. [32], [34]), die eine Vernetzung ermöglichen. Diese Kooperation und Überwachung der einzelnen Aktivitäten kann zur Steigerung der Produktivität und zur Kostensenkung beitragen [37]. Gleichzeitig sind jedoch Diskussionen in Bezug auf den Datenschutz zu erwarten.

Soziologische Rahmenbedingungen

Der Fahrer befindet sich nicht mehr im Fahrzeug, da der Gütertransport im Vordergrund steht. Es wird vermutet, dass die oft beschriebenen Dilemmasituationen aufgrund der anderen Bedingungen und niedrigerer Geschwindigkeiten wahrscheinlich seltener oder gar nicht vorkommen. Die Akzeptanz der Maschinen durch die Bauarbeiter spielt ebenso eine wichtige Rolle, da diese gleichzeitig auf Baustellen tätig sein können. Monotone Arbeiten können durch Maschinen übernommen werden, was einerseits die Produktivität und andererseits die Arbeitssicherheit steigern kann. Hier gilt jedoch auch zu beachten, dass eine menschliche Arbeitskraft gegen Maschinen ausgetauscht wird.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Hersteller von Maschinen sind dazu verpflichtet, ihre Maschinen so zu bauen, dass die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie eingehalten werden [41]. Auch für die betriebliche Sicherheit [42] gibt es zahlreiche Regelungen und Vorschriften, die insbesondere vom Arbeitgeber zu beachten und einzuhalten sind. Als Auszug sind hier zu nennen:

- BetrSichV (Betriebssicherheitsverordnung)
- ArbSchG (Arbeitsschutzgesetz)
- GPSG (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz)
- Richtlinie 98/37/EG (Maschinenrichtlinie)

Diese dienen vor allem dem Betrieb von Arbeitsmaschinen und müssen eingehalten werden. Nach dem Arbeitsschutzgesetz ist durch den Arbeitgeber eine Gefährdungsbeurteilung anzufertigen. Diese ist auf jedes Bauobjekt individuell zugeschnitten, da sie vor allem vom Gelände und den eingesetzten Arbeitsmitteln abhängig ist. In Bezug auf die Automatisierung von Baumaschinen besteht hier noch Klärungsbedarf. Auch der Datenschutz vor allem in Bezug auf die persönlichen Daten der Beschäftigten unterliegt dem Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) (speziell §32). Vermeintlich sinnvolle Einrichtungen, die zur Überwachung z. B. des Baufortschrittes dienen sollen, bedürfen der Zustimmung durch den Betriebsrat (vgl. Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG)).

4. Fazit

Die Automatisierung im Automobilbereich lässt sich nicht allgemein - mit allen Randbedingungen - auf den Baumaschinenbereich übertragen, da in den unterschiedlichen Phasen sehr unterschiedliche Maschinen zum Einsatz kommen, welche speziell für eine spezifische Aufgabe bestimmt sind (Bagger für Erdarbeiten, Planierdrape zur Verdichtung). Im Vordergrund steht die effiziente Prozesssteuerung, welche vor allem durch eine bessere Kooperation der einzelnen Teilnehmer/Maschinen auf der Baustelle erreicht werden kann. Weiterhin sind für eine Automatisierung sehr genaue Plandaten und 3D-Modelle notwendig. Hier kann auf umfangreiches Vorwissen aus dem Automobilbereich zugegriffen werden. Erweitert werden müssen diese Daten jedoch um sehr exakte Höhendaten und teilweise auch um Daten zur Bodenzusammensetzung. Zudem wird Sensorik z. B. zur Messung der Temperaturverteilung der Asphaltdecke als sinnvoll erachtet, die so im Auto nicht vorhanden ist und auch nicht benötigt wird. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass die Automation im Sektor der Baumaschinen weiter vorangetrieben wird. Jedoch sind noch zahlreiche Herausforderungen gegeben, die überwunden werden müssen, aber hohes Potential bezüglich Sicherheit und Prozesseffizienz haben.

Quellenverzeichnis:

- [1] Allan L. (2015): CES 2015: Audi goes driverless with Prologue concept and A7 road trip. URL: <http://www.autoexpress.co.uk/audi/89952/ces-2015-audi-goes-driverless-with-prologue-concept-and-a7-road-trip>, zuletzt geprüft am 24.07.2015
- [2] Meck, G. (2015): Testbetrieb – Daimler schickt selbstfahrende Trucks auf die Autobahn. URL: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/daimler-schickt-selbstfahrende-trucks-auf-deutschlands-autobahnen-13720135.html>, zuletzt aktualisiert am 25.07.2015, zuletzt geprüft am 27.07.2015.
- [3] Okuda, R.; Kajiwar, Y.; Terashima, K. (2014): A survey of technical trend of ADAS and autonomous driving. In: 2014 International Symposium on VLSI Technology, Systems and Application (VLSI-TSA). Hsinchu, Taiwan, S. 1–4.
- [4] Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (2015): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-05733-6
- [5] Verband der Automobilindustrie: Automatisiertes Fahren – VDA (2015): Automatisiertes Fahren. URL: <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren>, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
- [6] Dahlmann, D. (2013): Autonomes Fahren: Nicht vor 2020. URL: <http://heise.de/2059208>, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
- [7] WeltN24 GmbH (2015): Dobrindt fördert selbstfahrende Autos. In: Welt am Sonntag, Ausgabe 5, URL: <http://www.welt.de/136989896>. zuletzt aktualisiert am 01.02.2015, zuletzt geprüft am 27.07.2015.
- [8] Beiker, S. (2015): Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, S. 197–217.
- [9] Spehr, Jens; Töpfer, Daniel; Effertz, Jan (2014): Sensorbasierte Umfeldwahrnehmung in komplexen Straßenszenarien. In: Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen e.V. (Hg.): AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Beiträge zum gleichnamigen 15. Braunschweiger Symposium vom 12. und 13. Februar 2014, DLR e. V., Braunschweig. neue Ausg. Braunschweig: ITS Niedersachsen, S. 22–39.
- [10] Daimler AG (2014): Wie wird der Begriff "autonomes Fahren" definiert? zuletzt aktualisiert am 25.09.2014, zuletzt geprüft am 24.07.2015. <http://www.daimler.com/dccom/0-5-1742887-49-1743260-1-0-0-1743248-0-0-135->

- 0-0-0-0-0-0-0-0.html
- [11] Bartels, A. (2014): Vision und Möglichkeiten des automatischen Fahrens. In: Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen e.V. (Hg.): AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Beiträge zum gleichnamigen 15. Braunschweiger Symposium vom 12. und 13. Februar 2014, DLR e. V., Braunschweig. neue Ausg. Braunschweig: ITS Niedersachsen, S. 182–199.
 - [12] Filzek, B. (2014): Schlüsseltechnologien zum Automatisierten Fahren. In: AAET 2014 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Beiträge zum gleichnamigen 15. Braunschweiger Symposium vom 12. und 13. Februar 2014, DLR e. V., Braunschweig. neue Ausg. Braunschweig: ITS Niedersachsen, S. 10–20.
 - [13] Färber, B. (2015): Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, S. 127–146.
 - [14] Becker, J. (2015): Zum Beifahrer degradiert. Süddeutsche Zeitung. URL: <http://www.sueddeutsche.de/auto/selbstfahrende-autos-zum-passiven-beifahrer-degradiert-1.2366591>, zuletzt aktualisiert am 01.03.2015, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
 - [15] Tempelhahn, C.; Bäker, B. (2012): "Optimality-based Generation of Speed Trajectories for Parallel-Hybrid Commercial Vehicles". HEV 2012. 9th Symposium: 14. und 15. Februar 2012, Braunschweig.
 - [16] N.N. (2015): Kartenanbieter nehmen sich selbstfahrender Autos an. URL: <http://heise.de/-2756689>, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
 - [17] Wolf, I. (2015): Wechselwirkungen Mensch und autonomer Agent. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, S. 103–125.
 - [18] Römmele, Stefan (2015): Automatisiertes Fahren erfordert sichere Netze. In: AT-Zelektronik 10 (2), S. 28–33. DOI: 10.1007/s35658-015-0527-8.
 - [19] Reschka, A. (2015): Sicherheitskonzept für autonome Fahrzeuge. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg (SpringerLink : Bücher), S. 489–513.
 - [20] Gasser, T. (2015): Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg (SpringerLink : Bücher), S. 543–574.
 - [21] Randelhoff, M. (2013): Rechtliche Zulassung von autonomen Fahrzeugen: Welche Regelungen müssen geändert werden? URL: <http://www.zukunft-mobilitaet.net/17991/analyse/rechtslage-autonomes-fahren-regelungen-gesetz/>, zuletzt aktualisiert am 01.05.2013, zuletzt geprüft am 24.07.2015
 - [22] Übereinkommen über den Straßenverkehr 0.741.10 Art 8. Abs. (1)/(2). URL: https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/_/19680244/index.html, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
 - [23] WeltN24 GmbH / Reuters/lw (2015): UN revolutionieren Straßenverkehrsregeln von 1968. In Die Welt Ausgabe 16.05.2015, URL: <http://www.welt.de/128095552>. zuletzt aktualisiert am 16.05.2015, zuletzt geprüft am 27.07.2015.
 - [24] Hawranek, D.; Rosenbach, M (2015): Rollende Rechner. In: Der Spiegel 11/2015, S. 64–66.
 - [25] Rannenber, K. (2015): Erhebung und Nutzbarmachung zusätzlicher Daten - Möglichkeiten und Risiken. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, S. 515–538.
 - [26] N.N. (2015): Hacker steuern Jeep Cherokee fern. URL: <http://heise.de/-2759758>. zuletzt aktualisiert am 22.07.2015, zuletzt geprüft am 27.07.2015.
 - [27] Weiss, Harald (2014): Gesetze hinken der Technologie hinterher. In: VDI nachrichten, 44/2014, S. 11. Online verfügbar unter <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Gesetze-hinken-Technologie-hinterher>.
 - [28] Stockinger, M. (2015): Die Serienreife des autonomen Traktors ist bereits abseh-

- bar. In: BauernZeitung – Agrad-Anzeiger.at. 2015
- [29] Elflein, N. (2015): Digitale Assistenten: Tempomat für Minenfahrzeuge. In: *Pictures of the Future - Das Magazin für Forschung und Innovation*. URL: <http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/digitalisierung-und-software/digitale-assistenten-assistenzsysteme-minenfahrzeuge.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2015.
- [30] Beckhusen, R. (2013): Giant Robotic Mining Trucks Love the Australian Desert. URL: <https://medium.com/war-is-boring/giant-robotic-mining-trucks-love-the-australian-desert-bed4b2b5a70a>, zuletzt aktualisiert am 23.08.2013, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
- [31] ABZ (2015): Mit intelligent Maschine Control - Smarter Bagger feiert Deutschlandpremiere. In Allgemeine Bauzeitung Ausgabe 06/2015. URL: <http://allgemeinebauzeitung.de/abz/mit-intelligent-machine-control-smarter-bagger-feiert-deutschlandpremiere-5844.html>, zuletzt aktualisiert am 11.02.2015, zuletzt geprüft am 24.07.2015.
- [32] Kuenzel, R.; Mueller, M.; Teizer, J.; Blickle, A. (2015): SmartSite: Intelligent and Autonomous Environments, Machinery, and Processes to Realize Smart Road Construction Projects. In Proceeding of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2015). Oulu (Finland), 2015
- [33] Wendebaum, J.; Fliedner, J.; Marx, B. (2006): Lokale Positionierungssysteme im maschinellen Baubetrieb: Grundlagen, Begrenzungen und Anwendungsbeispiele. In: Fachtagung Baumaschinentechnik 2006, S. 123–133, 2006.
- [34] Jacob, A; Müller, M; Schüle, M; Bregenhorn, T.; et al. (2011): AutobauLog – Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik. Zweijahresbericht 29.11.2011. URL: http://www.autobauLog.de/wp-content/uploads/2012/07/AutoBauLog_Zweijahresbericht.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2015
- [35] Straube, E. (2015): Aufbau einer Straßenbefestigung. URL: http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-17018/Aufbau-einer-Straßenbefestigung_Druckversion.pdf zuletzt geprüft am 24.07.2015
- [36] Heikkilä, R.; Jaakkola, M. (2006): Automation of Road Construction—the State of the Art in Europe. In Proceedings of the 23rd ISARC 2006, pages 7–10, Tokyo, Japan.
- [37] Zankoul, E.; Khoury, H.; Awwad, R. (2015): Evaluation of Agent-Based and Discrete-Event Simulation for Modeling Construction Earthmoving Operations. In Proceeding of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2015). Oulu (Finland).
- [38] Wasle, E.; Seybold, J.; Urquijo, S.; Rohmer, G.; et al. (2010): Advanced Galileo navigation system for asphalt fleet machines ASPHALT. In: Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC), 2010 5th ESA Workshop on, S. 1–7.
- [39] Jacob, A. (2013): Verfügungsrechtliche Steuerung wertschöpfender Prozesse. Ein gestaltender Ansatz der Verteilten Künstlichen Intelligenz am Beispiel des Verkehrsinfrastrukturbaus. Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg.
- [40] Ziegler, J.; Bender, P.; Schreiber, M.; Lategahn, H.; Strauss, T.; Stiller, C. et al. (2014): Making Bertha Drive - An Autonomous Journey on a Historic Route. In: IEEE Intell. Transport. Syst. Mag. 6 (2), S. 8–20. DOI: 10.1109/MITS.2014.2306552.
- [41] Ullrich, Günter (2014): Fahrerlose Transportsysteme. Eine Fibel - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung. 2., erw. u. überarb. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Fortschritte der Robotik).
- [42] Bundesverband der Baumaschinen-, Baugeräte- und Industriemaschinenfirmen e.V. (2015): Betriebliche Sicherheit. URL: <http://www.bbi-online.org/index.php/service/recht-gesetz/betriebssicherheit>, zuletzt geprüft: 27.07.2015.